

N-59

LISTRIK



DRS. NGADIYONO

**ELEKTROSTATIKA DAN
KEMAGNETAN**

ELEKTROSTATIKA DAN KEMAGNETAN

Penulis :
Drs. Ngadiyono

Penilai :
Drs. Charles A. Selan

Edisi Pertama
Maret 1992

Dicetak Oleh :
Media Cetak PPPG Teknologi Bandung
Jl. Pasantren Km. 2 Cimahi - 40513
Telp. (0229) 2325 - 4400 Fax. 4695

PENGANTAR

Pengembangan Sekolah Seutuhnya (PSS) adalah suatu pendekatan yang dipakai oleh Proyek Kerjasama Indonesia - Belanda (N-59) dalam kegiatannya membangun STM.

Dengan pendekatan PSS ini, semua komponen kegiatan Proyek N-59 yang meliputi : Pengadaan dan rehabilitasi peralatan, pelatihan Guru dan Kepala Sekolah, rehabilitasi gedung, pengadaan buku bahan ajaran dan perbantuan tenaga ahli Belanda, kesemuanya secara jelas terprogram diarahkan untuk meningkatkan mutu lulusan 43 STM yang terkait pada Proyek ini.

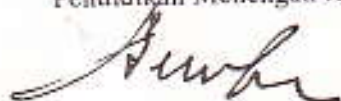
Pengadaan buku ini sebagai salah satu komponen kegiatan pada Proyek N-59, terprogram secara terpadu dengan komponen-komponen kegiatan lainnya sehingga ciri aplikasi teori pada praktek terasa menonjol pada buku ini, dengan harapan secara nyata dapat efektif membantu peningkatan mutu pendidikan di STM.

Sebanyak 51 judul buku yang telah diterbitkan melalui Proyek N-59 ini, diharapkan :

1. Memberi sumbangan yang berarti mengatasi sebagian masalah kelangkaan buku-buku keterampilan teknik.
2. Memberi dorongan rasa percaya diri kepada para penulis untuk mewujudkan karyanya dalam bentuk buku.

Buku ini tidak hanya dimaksudkan untuk 43 STM yang terkait dengan Proyek N-59 tetapi diharapkan dapat bermanfaat juga untuk STM-STM lainnya baik negeri maupun swasta bahkan juga oleh kursus-kursus keterampilan teknik industri dalam masyarakat luas pada umumnya.

Direktur
Pendidikan Menengah Kejuruan



Prof. Dr. B. Suprpto
NIP. 130143924

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
BAB I LISTRIK	
A. Muatan Listrik	1
B. Muatan Listrik Induksi	3
C. Besar Muatan Listrik	7
BAB II MEDAN LISTRIK	
A. Kuat Medan Listrik	10
B. Gaya Listrik	17
C. Garis Gaya	23
BAB III POTENSIAL	
A. Beda Potensial	26
B. Energi Potensial	27
BAB IV KAPASITOR	
A. Kapasitas	35
B. Kapasitor Pelat	40
C. Pengisian dan Pengosongan Kapasitor	42
D. Hubungan Jajar dan Seri Kapasitor	48
E. Energi Kapasitor	52
BAB V MAGNET	
A. Kutub Magnet	57
B. Kutub Magnet Induksi	59
C. Gaya Magnet	61
D. Medan Magnet	62
DAFTAR PUSTAKA	65

BAB I

L I S T R I K

Seorang ilmuwan bangsa Yunani bernama **Thales** yang hidup pada tahun 640 - 540 sebelum masehi menemukan tentang batu ambar yang digosok dengan sutera dapat menarik benda lain yang kecil. Ini berarti bahwa batu yang digosok menjadi bermuatan, oleh bangsa Yunani disebut elektron atau electric. Kemudian disebut elektostatika.

Elektron adalah partikel yang sangat kecil, beratnya $\frac{1}{1840}$ berat atom hydrogen dan bermuatan negatif diketemuikan oleh **Sir J.J. Thomson**.

Gelas yang digosok dengan sutera elektron dari gelas merambat pada sutera maka elektron pada gelas menjadi berkurang sehingga gelas bermuatan positif. Apabila ebonit digosok dengan wool maka elektron dari wool merambat ke ebonit sehingga ebonit bermuatan negatif.

A. MUATAN LISTRIK

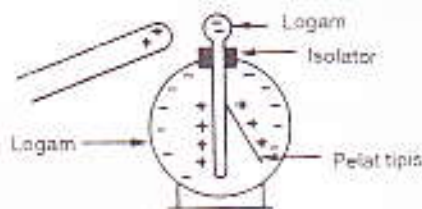
Pada dasarnya benda memiliki muatan positif dan negatif. Apabila jumlah muatan positif dan negatif sama pada benda tersebut maka benda ini disebut netral. Jadi benda bermuatan positif bila pada benda kekurangan elektron sedangkan muatan negatif bila kelebihan elektron. Berdasarkan percobaan diperoleh data bahwa dua benda yang bermuatan yang senama akan saling tolak menolak sedangkan muatan yang tidak senama tarik menarik. Muatan senama adalah muatan negatif dengan muatan negatif dan muatan tidak senama adalah muatan positif dengan muatan negatif.

Muatan listrik dapat merambat melalui logam, air (bukan air suling) dan badan manusia. Hal ini telah ditemukan pada tahun 1739 oleh **Du Fay** bahwa logam yang dipegang oleh tangan sukar diberikan muatan padanya, tetapi logam tersebut dapat dimuati apabila dipegang dengan batu ambar atau kaca. Jadi batu ambar dan kaca tidak menampakkan muatan listrik. Oleh sebab itu batu ambar atau kaca disebut penyekat listrik atau isolator.

Jenis muatan listrik ditentukan oleh jumlah elektron pada suatu benda. Ini berarti bahwa yang bergerak adalah elektron, merupakan partikel yang terkecil yang bergerak mengelilingi intinya karena adanya gaya tarik oleh intinya, terjadilah ikatan antara elektron terhadap intinya. Apabila suatu benda memiliki elektron yang bebas yaitu mudah keluar dari orbitnya, maka benda ini disebut konduktor atau biasa disebut penghantar listrik. Sebaliknya elektron yang terikat kuat sehingga tidak dapat keluar dari orbitnya maka benda ini disebut isolator atau biasa disebut penyekat listrik.

Walaupun demikian yang disebut aliran listrik adalah aliran muatan positif karena hal ini telah diakui oleh para ahli listrik terdahulu, maka aliran elektron dinyatakan berlawanan dengan arah aliran listrik dengan menggunakan tanda positif untuk arah aliran listrik dan negatif untuk arah aliran elektron.

Benda yang bermuatan listrik dapat diketahui dengan menggunakan alat yang disebut electroscope, cirinya ada muatan dapat dilihat pada pelat logam tipis membuka.



Gambar 1
Electroscope

Setelah dilakukan percobaan diperoleh data bahwa electroscope menunjukkan adanya muatan listrik pada permukaan benda bagian luar sedangkan di dalam rongga bagian luar sedangkan di dalam rongga pada benda yang sama tidak. Hal ini membuktikan tentang muatan listrik hanya berada pada

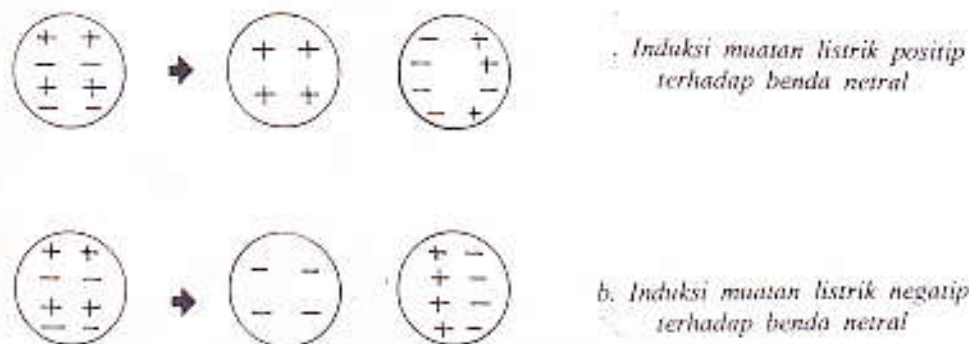
permukaan benda. Jadi rongga pada penghantar merupakan daerah yang bebas dari muatan listrik, apabila pada penghantar diberikan muatan maka benda yang berada di dalam ruangan tidak memperoleh muatan.

Muatan listrik di industri cukup membahayakan bagi keselamatan kerja. Loncatan listrik dari tempat satu ke tempat lain berupa bunga api sepanjang jalan yang ditempuhnya. Energi panas ini merupakan salah satu komponen dalam proses pembakaran. Muatan listrik dapat membuat kejutan pada manusia atau binatang yang menyinggungnya.

Adanya muatan listrik, partikel-partikel debu di dalam udara dapat ditariknya. Sifat ini di dalam teknologi digunakan untuk teknik pengecatan. Cat yang dikabutkan ditarik oleh benda yang bermuatan listrik sehingga cat menempelkan pada permukaan benda lebih padat.

B. MUATAN LISTRIK INDUKSI

Suatu benda yang didekatkan terhadap benda yang bermuatan listrik maka benda tersebut memperoleh induksi atau imbas dari muatan yang bersangkutan. Apabila suatu benda netral didekatkan pada muatan listrik positif maka muatan yang terdapat pada benda menjadi terpisah. Muatan listrik negatif ditarik dan muatan positif ditolak, seperti terlihat pada gambar 2a. dan 2b.

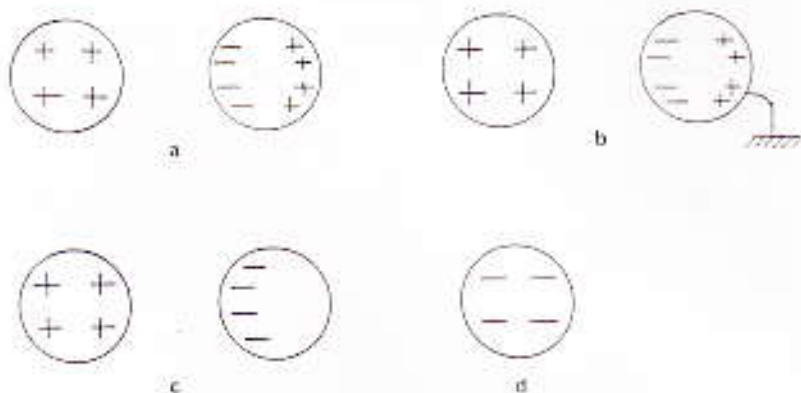


Gambar 2
Induksi muatan listrik

Pemberian muatan pada benda yang tidak bermuatan atau netral dapat dilakukan secara induksi. Pada gambar 2a benda netral yang didekatkan dengan benda yang bermuatan positif maka muatan positif menjauhi terhadap muatan yang mengimbasnya (induksi), tetapi masih berada pada benda yang bersangkutan. Bila benda ini dihubungkan dengan bumi dengan pertolongan kawat penghantar listrik maka muatan listrik positif tersebut setelah memperoleh pasangan elektron menjadi netral. Sedangkan elektron yang semula menjadi pasangannya masih mendekati muatan yang mengimbasnya.

Kemudian hubungan dengan bumi diputuskan dan muatan yang mengimbasnya dijauhkan maka elektron pada benda tidak mempunyai pasangan lagi karena muatan yang menjadi pasangannya semula setelah adanya imbas memisahkan diri dan memperoleh pasangan baru dari bumi kelebihan elektron dan disebut benda bermuatan negatif.

Muatan positif dapat diperoleh dengan jalan yang sama, tetapi muatan yang mengimbasnya adalah muatan negatif. Lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3a, b, c, dan d.

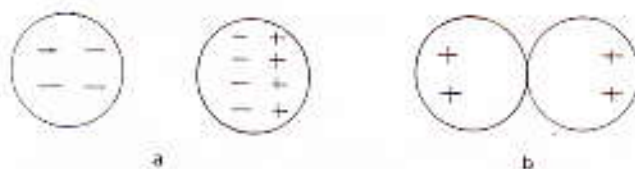


Gambar 3
Pemberian muatan negatif pada benda netral

Pada gambar 3 (a) suatu benda netral didekatkan pada benda yang bermuatan listrik positif.

1. Benda dihubungkan dengan bumi
2. Muatan positif menjadi netral dan muatan negatif tetap
3. Benda bermuatan negatif.

Memberikan muatan pada benda netral juga dapat dilakukan dengan cara menyinggungkan benda tersebut dengan benda yang bermuatan listrik. Pada saat benda bersinggungan maka terjadi aliran elektron dari benda yang satu ke benda yang lainnya. Seperti pada gambar 4 dapat dijelaskan peristiwa pemberian muatan pada benda netral.



a. Benda bermuatan positif didekatkan pada benda netral

b. Benda bermuatan disinggungkan pada benda netral.

Gambar 4
Pemindahan muatan positif pada benda netral

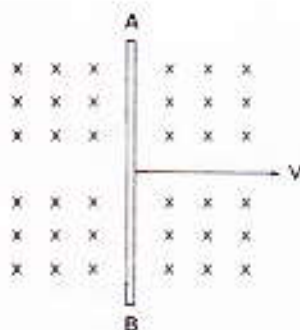
Benda netral yang didekatkan pada benda yang bermuatan maka muatan positif dan negatif terpisah, tetapi setelah kedua benda ini bersentuhan terjadinya penggabungan muatan-muatan tersebut sampai terjadi keseimbangan jumlah muatan positif dan muatan negatif. Bila kedua benda tersebut dipisahkan maka muatan tersebut terbagi pada kedua benda tersebut.

Dua buah benda keduanya netral didekatkan satu sama lain dihubungkan dengan baterai kutub positif dihubungkan dengan benda A dan kutub negatif dihubungkan dengan benda B.

Energi listrik yang tersimpan pada baterai digunakan untuk menggerakkan elektron dari kutub negatif ke benda B, sehingga benda B kelebihan elektron dan benda B kepada benda A muatan negatif yang ditolak, langsung ditarik oleh muatan positif pada kutub positif baterai sehingga benda A bermuatan positif. Bila hubungan baterai diputuskan dengan benda A maupun B, terjadilah muatan positif pada benda dan negatif pada benda B.

Sentas kawat penghantar yang dihubungkan pada benda A dan B, maka terjadilah aliran elektron dari benda A ke benda B. Aliran elektron berhenti setelah terjadi keseimbangan jumlah muatan positif dan negatif sama. Dengan kata lain kedua benda A dan B menjadi netral kembali.

Cara yang sangat efektif dalam memberikan muatan pada suatu benda dapat dilakukan dengan perantara perubahan energi magnetik yang terjadi setiap satuan waktu. Dalam praktek untuk mengadakan perubahan energi magnetik tidak dilakukan, tetapi masalah ini dapat diselesaikan dengan memberikan energi magnetik tertentu dikombinasikan dengan gerakan yang menggunakan energi mekanik pada benda yang akan dimuati listrik.



Gambar 5
Penghantar AB bermuatan akibat gerakan

Pada gambar 5 tanda silang (x) menunjukkan medan magnet yang bergerak dengan arah tegak lurus terhadap bidang dan menghantar AB sejajar dengan bidang. Gerakan ke arah kecepatan V maka muatan positif dan negatif pada penghantar saling memisahkan diri, muatan positif pada ujung B. Bila ujung A dan B pada penghantar dihubungkan dengan penghantar lain maka terjadi aliran elektron dari ujung B melalui penghantar tersebut menuju ujung A. Prinsip ini digunakan untuk membangkitkan energi listrik, yaitu pada mesin listrik.

C. BESAR MUATAN LISTRIK

Pada dasarnya setelah diketemukan elektron, besarnya muatan elektron digunakan sebagai satuan, tetapi satuan ini sangat kecil bagi satuan listrik yang digunakan di dalam pembangkitan energi listrik. Satuan yang dipakai di dalam praktek adalah Coulomb disingkat dengan huruf besar (C). Besarnya kira-kira 6×10^{18} kali muatan elektron.

Menurut hasil percobaan muatan dapat diketahui dari besarnya gaya yang bekerja pada benda yang bermuatan di dalam vacuum (hampa udara). Pengukuran dilaksanakan dengan pertolongan satuan gaya dalam newton jarak dalam meter, konstanta gaya dalam vacuum sama dengan 9×10^9 (pembuatan dari $8,98776 \times 10^9$).

Dua buah muatan yang sama didekatkan sejauh satu meter di dalam vacuum, kedua muatan itu saling tolak menolak, bila gaya tolak menolak tersebut besarnya 9×10^9 Newton maka muatan ini disebut satu Coulomb (C). Konstanta yang besarnya 9×10^9 disingkat dengan huruf kecil (k) dengan satuan :

$$\frac{(\text{Newton-meter}^2)}{\text{Coulomb}^2}$$

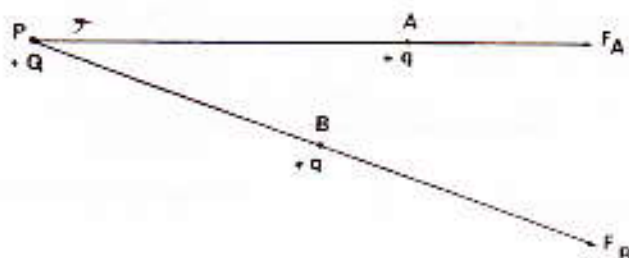
Persamaan hukum Coulomb secara matematika diperlukan faktor yang besarnya 4π , oleh sebab itu muncullah konstanta baru yang disingkat dengan ϵ (dibaca epsilon nol), indek nol menyatakan konstanta dalam hampa udara.

$$\epsilon = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \times 8,98776 \times 10^9} = 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{Coulomb}^2}{\text{Newton-meter}^2}$$

BAB II

MEDAN LISTRIK

Suatu titik P bermuatan listrik Q positif dan titik A bermuatan q terletak disekitar titik P, maka titik A menderita gaya yang arahnya sesuai dengan arah garis yang menghubungkan antara titik P dan titik A seperti gambar 6.

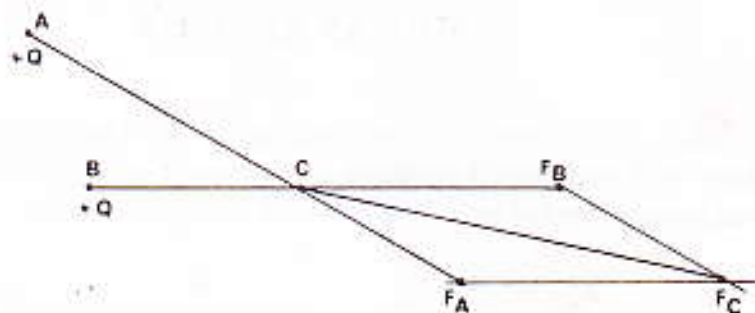


Gambar 5
Penghantar AB bermuatan akibat gerakan

Titik B terletak pada tempat lain dengan muatan yang sama tetapi arahnya berbeda dengan arah F_A , karena arah F_B sesuai dengan arah garis PB dan F_B lebih besar dibandingkan dengan F_A , hal ini disebabkan oleh letak titik B terhadap P lebih dekat dari titik A terhadap P. Jadi gaya yang diderita oleh titik A yang bermuatan listrik disekitar titik P yang bermuatan, besar dan arahnya ditentukan oleh letak A terhadap titik P.

Dalam ruangan disekeliling suatu benda yang bermuatan listrik terdapat medan elektrostatis.

Bila di dalam ruangan terdapat muatan listrik lebih dari satu yaitu titik A dan B yang bermuatan $+Q$ yang sama, maka gaya yang bekerja pada titik C yang bermuatan $+q$, maka titik C menderita gaya dengan arah AC dengan F_A dan arah BC dengan F_B seperti gambar 7.



Gambar 7
Jumlah gaya F_A dan F_B sama dengan F_C

Menurut gambar 7 arah dan besarnya F_C ditentukan oleh arah dan besar dari F_A dan F_B .

A. KUAT MEDAN LISTRIK

Gaya yang diterima oleh muatan di dalam medan listrik elektrostatis, berbanding lurus dengan besar muatan itu sendiri. Bila muatannya dua kali lebih besar maka gaya yang diterimanya dua kali pula.

Gaya yang diterima oleh muatan q dalam medan listrik adalah F , maka gaya tiap satuan muatan besarnya $E = F/q$. Jadi gaya tiap satuan muatan ini menyatakan keadaan medan listrik pada suatu titik. Gaya tiap satuan muatan disebut kuat medan.

Kuat medan dapat didefinisikan sebagai berikut :

Kuat medan pada suatu titik dari medan elektro statika adalah gaya yang diterima oleh sebuah muatan positif pada titik itu pada tiap satuan muatan.

Satuan gaya adalah Newton disingkat dengan huruf besar N dan satuan muatan adalah Coulomb disingkat dengan huruf besar C . Oleh sebab itu satuan kuat medan menjadi Newton per Coulomb atau N/C . Satuan ini yang dipakai menurut standard SI. Satuan gaya yang lebih kecil adalah dyne ($1 \text{ dyne} = 10^{-5} \text{ Newton}$) dan satuan muatan adalah satuan elektrostatis

muatan disingkat menjadi stat Coulomb ($1 \text{ stat Coulomb} = 3,335 \times 10^{-10} \text{ Coulomb}$) maka satuan kuat medan menjadi gauss

$$(1 \text{ gauss} = \frac{1 \text{ dyne}}{1 \text{ stat Coulomb}})$$

Besarnya kuat medan pada suatu titik yang dipengaruhi sebuah benda lain yang bermuatan listrik dapat dihitung sebagai berikut :

Suatu titik yang bermuatan listrik positif memancarkan garis-garis gaya ke segala penjuru. Jumlah garis gaya yang dipancarkan melalui titik tersebut adalah ϕ , besarnya ϕ ditentukan oleh media dimana titik yang bermuatan tadi berada. Muatan dapat menghasilkan garis gaya sebesar $\epsilon\phi$

Jadi jumlah garis gaya dapat dituliskan :

$$\phi = \frac{Q}{\epsilon}$$

ϵ adalah konstanta, nilainya ditentukan oleh medianya, untuk ruang hampa udara konstanta tersebut adalah ϵ_0 , besarnya $0,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ pada bidang teknologi dipakai konstanta baru ϵ , konstanta yang menyatakan harga kelipatan dari konstanta suatu media terhadap konstanta dalam hampa udara. Konstanta pada suatu media dapat ditulis :

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

ϵ_r untuk vacuum	= 1
udara	= 1,0006
kertas kering	= 2
kertas minyak	= 3,6
mica	= 7,5
baklit	= 5
gelas	= 6 sampai 7
minyak	= 2 sampai 3
porcelain	= 6 sampai 7

Sebuah bola dengan jari-jari luas permukaannya adalah $4\pi r^2$, bila kuat medan pada permukaan bola adalah E maka $\phi = 4\pi r E$, jadi

$$4\pi r^2 E = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon}$$

Q = muatan listrik (C)

r = jarak (m)

E = kuat medan (NQ^{-1} (newton per coulomb)) eta
($V m^{-1}$ (volt per meter)).

Contoh 1.

Suatu titik bermuatan positif $225 \mu C$ berada dalam media $\epsilon_r = 76$. Tentukan kuat medan di titik A yang berada pada 15 cm dari muatan tersebut.

Diketahui: $Q = 2,25 \mu C$

$r = 150 \text{ cm}$

$= 76$

Ditanya kuat medan pada titik A.

Jawab : $Q = 2,25 \mu C = 2,25 \times 10^{-6} C$

$r = 150 \text{ cm} = 1,5 \text{ m}$

$C = E, E = 76 \times 8,854 \times 10^{-12}$

$$E = \frac{Q}{4\pi \epsilon r^2} = \frac{2,25 \times 10^{-6}}{4 \times 76 \times 8,854 \times 10^{-12} \times 1,5^2} = 118 N/C$$

Contoh 2

Tiga buah muatan masing-masing $R = 2 \mu C$, $S = -3 \mu C$

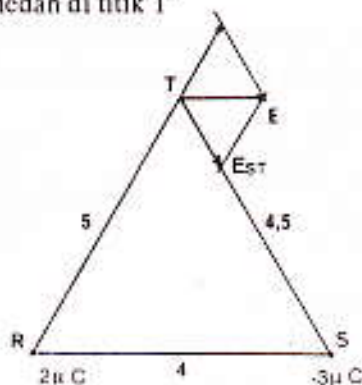
Bila jarak $RS = 4 \text{ m}$, titik T berada pada 5 m dari R dan 4,5 m dari S.

Hitung kuat medan di T dengan media udara ($\epsilon = 1$)

Diketahui: QR = $2\mu\text{C}$
 QS = $3\mu\text{C}$
 RS = 4 m
 TR = 5 m
 TS = 4,5 m

Ditanya : Kuat medan di titik T

Jawab :



Gambar 8
 Kuat medan di titik T

$$E_{RT} = \frac{Q_R}{4\pi \epsilon_0 r^2} = \frac{2 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 5^2} = 719 \text{ N/C}$$

$$E_{ST} = \frac{Q_S}{4\pi \epsilon_0 r^2} = \frac{-3 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 4,5^2} = -1331 \text{ N/C}$$

$$\alpha = \arccos \cdot \frac{RT^2 + ST^2 - RS^2}{2 RT \times ST}$$

$$\alpha = \arccos \cdot \frac{5^2 + 4,5^2 - 4^2}{2 \times 5 \times 4,5} = 10^\circ 32' 29,76''$$

$$E = E_{RT}^2 + E_{TS}^2 + 2 E_{RT} \cdot E_{TS} \cos \alpha$$

$$E = 917^2 + 1331^2 + 2 \times 917 \times 1331 \times \cos 130^\circ 32' 29,76'' = 1022 \text{ N/C}$$

Contoh 3.

Suatu garis AB panjangnya 50 cm bermuatan listrik positif. Bila muatan tiap meter adalah $0,5 \mu\text{C}$.

Tentukan kuat medan pada titik M yang terletak pada garis tegak lurus melalui titik A. Panjang AM = 75 cm dan mediana udara

Diketahui: $l = 50 \text{ cm}$

$$= 0,5 \mu\text{C/m}$$

$AB \perp AM$

$AM = 75 \text{ cm}$

Ditanya : Kuat medan di M

Jawab : $l = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$

$AM = 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}$

$$dq = \lambda dx = 0,5 \times 10^{-6} dx$$

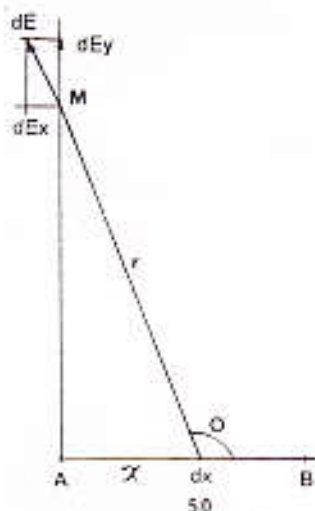
$$r = \frac{0,75}{\sin \theta}$$

$$x = \frac{0,75}{\tan \theta} = -0,75 \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$dx = 0,75 \left(\frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \right)$$

$$dE = \frac{0,5 \times 10^{-6} \times 0,75 d\theta \times \sin^2 \theta}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \sin^2 \theta \cdot 0,75}$$

$$dE_y = dE \sin \theta = \frac{0,5 \times 10^{-6}}{4\pi \times 0,75 \times 8,854 \times 10^{-12}} \sin \theta d\theta$$



Gambar 9

Kuat medan di titik M dari muatan garis AB = l

$$dE_x = dE \cos \theta = \frac{0,5 \times 10^{-6}}{4\pi \times 0,75 \times 8,85 \times 10^{-12}} \cos \theta d\theta$$

Pada titik A hanya = 90°

Pada titik B hanya ($180-\theta$) = arc dan $0,75 = 56^\circ 18' 35,75''$

$$\theta = 123^\circ 41' 24,25''$$

$$E_y = \frac{0,5 \times 10^{-6}}{4\pi \times 0,75 \times 8,854 \times 10^{-12}} \int_{90}^{123^\circ 41' 24,25''} \sin \theta d\theta = 3323,66 \text{ N/C}$$

$$E_x = \frac{0,5 \times 10^{-6}}{4\pi \times 0,75 \times 8,854 \times 10^{-12}} \int_{90}^{123^\circ 41' 24,25''} \cos \theta d\theta = -1006,63 \text{ N/C}$$

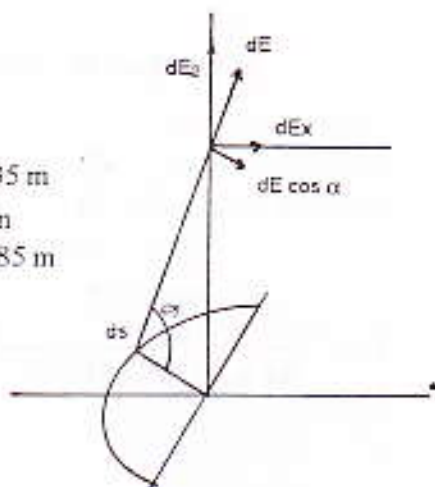
$$E = \sqrt{3323,66^2 + 1006,63^2} \quad \angle \text{arc tan } \frac{3323,66}{-1006,63}$$

$$E = 3472,75 \quad \angle 106. 50' 59,55''$$

Contoh 4.

Suatu garis berbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 35 cm. Garis ini bermuatan listrik positif dengan muatan tiap meter $0,3 \mu\text{C}$. Titik pusat lingkaran merupakan proyeksi dari titik M dan berada 85 cm di atas bidang. Tentukan kuat medan di M dalam mesia udara.

Diketahui : $r = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$
 $0,3 \text{ } \mu\text{C/m}$
 $h + 85 \text{ cm} = 0,85 \text{ m}$



Gambar 10
 Kuat medan pada titik Z dari muatan setengah lingkaran

Ditanya : kuat medan di M

Jawab :

$$\alpha = \arcsin \frac{2}{r} = \frac{0,85}{0,35} = 67^{\circ} 37' 11,51''$$

$$\rho = \frac{z}{\sin \alpha}$$

$$dg = \lambda r d\theta$$

$$dE = \frac{dg}{4\pi \epsilon_0 r^2} = \frac{\lambda r d\theta}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12}} \times \frac{\sin^2 \alpha}{r^2}$$

$$dEx = dE \cos \alpha \cos \theta$$

$$dEy = dE \cos \alpha \sin \theta$$

$$dE_z = dE \sin \alpha$$

$$E_x = \frac{0,3 \times 10^{-6} \times 0,35 \sin^2 \alpha \cos \alpha}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 0,85^2} \cdot \frac{3\pi/2}{\pi/2} \cdot \cos \theta \, d\theta \cos = 850,45 \text{ N/C}$$

$$E_y = 0$$

$$E_z = \frac{0,3 \times 10^{-6} \times 0,35 \sin^3 \alpha}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 0,85^2} \cdot \frac{3\pi/2}{\pi/2} \cdot d\theta = 3244,31 \text{ N/C}$$

$$E = \sqrt{850,45^2 + 3244,31^2} \quad \angle \arctan \frac{3244,31}{850,45}$$

$$E = 3353,92 \angle 75^\circ 18' 40,37''$$

B. GAYA LISTRIK

Suatu benda yang bermuatan positif Q dalam medan listrik E maka benda A akan menderita gaya sebesar F

$$F = Q \cdot E$$

$$F = \text{gaya (V)}$$

$$Q = \text{muatan (C)}$$

$$E = \text{kuat medan (NC}^{-1}\text{)}$$

Bila kuat medan diperoleh dari sebuah muatan positif Q_2 dengan jarak r maka :

$$E = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

Jadi gaya diderita oleh titik A adalah :

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

kadang-kadang persamaan gaya biasa ditulis

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Dalam media udara

$$k = \frac{1}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12}} = 8,98774 \times 10^9$$

Dalam media yang lain

$$k = \frac{k_{udara}}{\epsilon_r}$$

Dua buah muatan yang berdekatan satu sama lainnya maka kedua muatan tersebut menderita gaya tolak atau tarik. Sifat gaya ini ditentukan oleh jenis muatannya. Gaya tolak diperoleh bila kedua muatan tersebut sejenis, yaitu keduanya positif atau keduanya negatif.

Sedangkan gaya tarik diperoleh bila kedua muatan berbeda jenis yaitu positif yang lainnya negatif atau sebaliknya.

Contoh 1.

Sebuah titik A bermuatan positif $0,36 \mu\text{C}$ dan titik B bermuatan positif $0,18 \mu\text{C}$, berjarak $1,5 \text{ mm}$ terhadap A.

Tentukan gaya yang bekerja pada kedua titik tersebut.

Diketahui: $Q_A = 0,36 \mu\text{C}$
 $Q_B = 0,18 \mu\text{C}$
 $AB = 1,5 \text{ mm}$

Ditanya : Gaya yang bekerja pada kedua titik

Jawab : $Q_A = 0,36 \times 10^{-6} \mu\text{C}$
 $Q_B = 0,18 \times 10^{-6} \mu\text{C}$
 $AB = 1,5 \text{ mm}$
 $k = 9 \times 10^9$

$$F = k \frac{Q_A Q_B}{r^2}$$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{0,36 \times 10^{-6} \times 0,18 \times 10^{-6}}{(1,5 \times 10^{-3})^2}$$

$$F = 259,2 \text{ N}$$

Jadi gaya 259,2 N adalah tolak menolak

Contoh 2.

Sebuah titik A bermuatan positif $0,17 \mu\text{C}$ dan titik B bermuatan negatif $0,28 \mu\text{C}$, berjarak 50 cm terhadap titik A.

Tentukan gaya yang bekerja pada kedua titik tersebut :

Diketahui : $Q_A = 0,17 \mu\text{C}$

$Q_B = -0,28 \mu\text{C}$

$r = 50 \text{ cm}$

$k = 9 \times 10^9$

Ditanya : Gaya yang bekerja pada kedua benda

Jawab : $Q_A = 0,17 \times 10^{-3} \text{ C}$

$Q_B = -0,28 \times 10^{-3} \text{ C}$

$r = 0,5 \text{ m}$

$k = 9 \times 10^9$

$$F = k \frac{Q_A Q_B}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{0,17 \times 10^{-3} (-0,28 \times 10^{-3})}{0,5^2}$$

$$F = -1713,6 \text{ N}$$

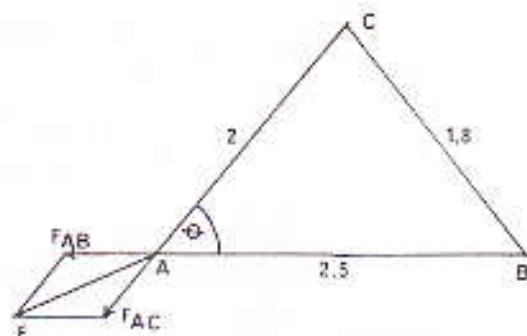
Jadi gaya 1713,6 N adalah gaya tarik menarik

Contoh 3.

Tiga buah titik A, B dan C masing-masing bermuatan $0,8 \text{ C}$, $0,6 \mu\text{C}$ dan $0,3 \mu\text{C}$. Bila jarak $AB = 25 \text{ cm}$, $BC = 18 \text{ cm}$ dan $CA = 20 \text{ cm}$.

Hitung gaya dititik A.

Diketahui : $Q_A = 0,8 \pi C$
 $Q_B = 0,6 \pi C$
 $Q_C = 0,3 \pi C$
 $r_{AB} = 2,5 \text{ m}$
 $r_{BC} = 1,8 \text{ m}$
 $r_{CA} = 2,0 \text{ m}$



Gambar 11
 Gaya yang bekerja pada titik A dari
 muatan B dan C

Ditanya : Gaya bekerja pada titik A.

Jawab : $Q_A = 0,8 \times 10^{-3} \text{ C}$
 $Q_B = 0,6 \times 10^{-3} \text{ C}$
 $Q_C = 0,3 \times 10^{-3} \text{ C}$
 $r_{AB} = 2,5 \text{ m}$
 $r_{BC} = 1,8 \text{ m}$
 $r_{CA} = 2,0 \text{ m}$

$$F_{AC} = k \frac{Q_A Q_C}{r_{AC}^2} = 9 \times 10^9 \frac{0,8 \times 10^{-3} \times 0,3 \times 10^{-3}}{2^2} = 540 \text{ N}$$

$$F_{AB} = k \frac{Q_A Q_B}{r_{AB}^2} = 9 \times 10^9 \frac{0,8 \times 10^{-3} \times 0,6 \times 10^{-3}}{2,5^2} = 691,2 \text{ N}$$

$$\theta = \arccos \frac{AC^2 + AB^2 - BC^2}{2 \times AC \times AB}$$

$$\theta = \text{Arc cos } \frac{2^2 + 2,5^2 - 1,8^2}{2 \times 2 \times 2,5} = 45^\circ 29' 33,75''$$

$$F = F_{AC}^2 + F_{AB}^2 + 2 F_{AC} \times F_{AB} \times \cos \theta$$

$$F = 540^2 + 691,2^2 + 2 \times 540 \times 691,2 \cos 45^\circ 29' 33,75''$$

$$F = 1136,94 \text{ N}$$

Penjumlahan kedua gaya dapat dilakukan dengan cara lain.

$$F_{AB} \angle 180^\circ$$

$$F_{AC} \angle (180 + \theta)$$

Arah mendatar

$$F_{AB} \cos 180 + F_{AC} \cos (180 + \theta)$$

$$691,2 \cos 180 + 540 \cos (180 + 45^\circ 29' 33,75'') = -1069,74 \text{ N}$$

Arah vertikal

$$F_{AB} \sin 180 + F_{AC} \sin (180 + \theta) =$$

$$691,2 \sin 180 + 540 \sin (180 + 45^\circ 29' 33,75'') = -385,10 \text{ N}$$

$$F = 1 - 1069,74 + (-385,10) = 1136,94 \text{ N}$$

Contoh 4.

Sebuah cincin dengan diameter 40 cm bermuatan positif $0,75 \mu\text{C}$. Melalui titik pusat cincin ditarik garis tegak lurus terhadap bidang cincin. Titik M berada 150 cm terhadap titik pusat cincin dan bermuatan negatif $0,35 \mu\text{C}$.

Tentukan gaya pada titik M.

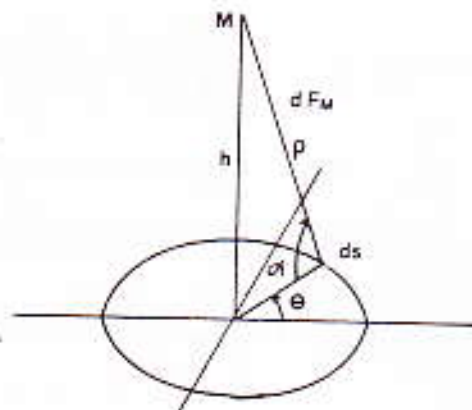
Diketahui : $D = 40 \text{ cm}$

$$Q_{\text{cincin}} = 0,75 \mu\text{C}$$

$$Q_M = -0,35 \mu\text{C}$$

$$h_M = 1,50 \text{ cm}$$

Ditanya : Gaya pada M



Gambar 12
Gaya yang bekerja pada titik M dari muatan cincin

Jawab : $\alpha = \arctan h/r = \arctan 1,5/0,2 = 82^{\circ}24'19,28''$

$$= \frac{Q_{ci}}{\mu D}$$

$$dq = r \lambda d\theta = \frac{Q_{ci} r d\theta}{\mu D}$$

$$dF = k \frac{Q_M dq}{\rho^2} = k \frac{Q_M Q_{ci} r d\theta}{\pi D \rho^2}$$

$$dF_x = 0$$

$$dF_y = k \frac{K Q_M Q_{ci} r d\theta}{\pi D \rho^2} \sin \alpha$$

$$F = k \frac{Q_M Q_{ci} r \sin \alpha}{\pi D \rho} \int_0^{2\pi} d\theta$$

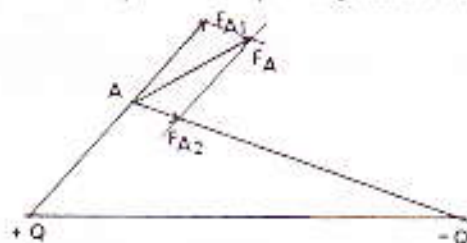
$$F = 9 \times 10^9 \frac{0,35 \times 10^{-3} \times (-0,75 \times 10^{-3}) \times 0,2 \times \sin 82^\circ 24' 19,28^\circ}{0,4 \times (1,5 + 0,3)} \frac{2\pi}{d\theta}$$

$$F = -1822,6 \text{ N}$$

Jadi gaya F arahnya menuju pusat cincin.

C. GARIS GAYA

Suatu daerah yang dipengaruhi oleh dua buah muatan positif dan negatif, maka kuat medan tiap titik merupakan jumlah vektor.

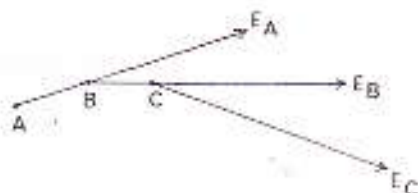


Gambar 13a
Kuat medan di titik A
dari muatan $+q$ dan $-q$

Jarak $AB = BC = CD$ dan seterusnya

Bila jarak AB diperkecil, maka akan tertulis jari lengkung.

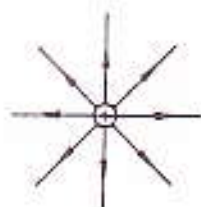
Arah tiap vektor akan menyinggung pada garis tersebut.



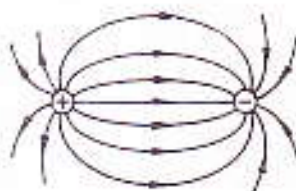
Gambar 13b
Melukis garis gaya

Sifat garis gaya

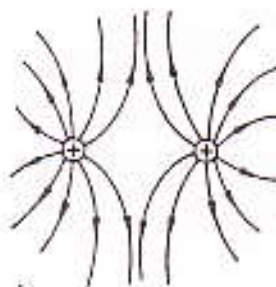
1. Garis gaya mulai pada muatan positif dan berakhir pada muatan negatif
2. Garis-garis gaya tidak berpotongan
3. Garis-garis gaya pada permukaan benda yang bermuatan selalu tegak lurus.



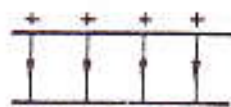
Muatan terisolasi



Muatan yang berbeda



Muatan yang sama



Pelat sejajar



Muatan tunggal terhadap pelat

Gambar 14
Sifat garis gaya

BAB III

POTENSIAL

Dua buah titik A bermuatan positif Q Coulomb dan titik B bermuatan positif 1 Coulomb. Bila jarak antara A dan B adalah ρ meter dalam media ϵ , maka kuat medan di titik B adalah.

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon\rho^2}$$



Gambar 15
Potensial di titik B dari muatan +Q di titik A

Untuk memindahkan muatan + 1 Coulomb sepanjang $\rho + d\rho$, maka usaha yang kita lakukan

$$dA = - E d\rho$$

$$dA = \frac{- Q d\rho}{4\pi\epsilon\rho}$$

Kuat medan di B adalah E , sedangkan kuat medan di jauh tak terhingga adalah nol, jadi usaha di titik B adalah :

$$A = \int_{\infty}^{\rho} \frac{Q d\rho}{4\pi\epsilon\rho^2}$$

$$A = - \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(-\frac{1}{\rho} \right)_{\infty}^{\rho}$$

$$A = - \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty} \right)$$

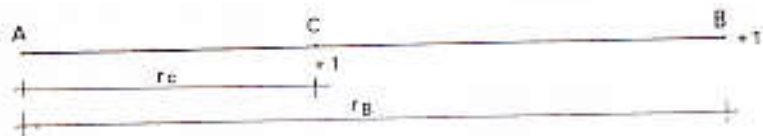
$$A = \frac{Q}{4\pi\epsilon r}$$

Jadi $\frac{Q}{4\pi\epsilon r}$ adalah potensial V di titik B

$$V_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon r}$$

A. BEDA POTENSIAL

Sebuah titik A bermuatan positif Q Coulomb titik B bermuatan positif 1 Coulomb, jarak $AB = r_B$



Gambar 16
Benda potensial suatu antara dua titik
dari muatan $+Q$

Potensial di titik B adalah B

$$V_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_B}$$

Bila pada garis AB terdapat titik C

Jarak $AC = r_A$

Potensial di titik C adalah V_C

$$V_C = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_C}$$

$$V_C - V_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_C} - \frac{Q}{4\pi\epsilon r_B}$$

$V_C - V_B = V_{CB}$ disebut beda potensial

V_{CB} = positif karena r_C lebih kecil dari r_B

maka $V_B - V_C$ negatif

Jadi $V_{CB} = -V_{BC}$

B. ENERSI POTENSIAL

Usaha yang kita lakukan untuk memindahkan muatan positif q dari jauh tak terbingga sampai titik itu.

$$E_p = - \int_{\infty}^r q \epsilon dp$$

$$E_p = - \int_{\infty}^r q \frac{Q dp}{4\pi\epsilon \rho^2}$$

$$E_p = - q \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(-\frac{1}{\rho} \right) \Big|_{\infty}^r$$

$$E_p = \frac{qQ}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty} \right)$$

$$E_p = \frac{qQ}{4\pi\epsilon r} \quad \text{atau}$$

$$E_p = q V$$

Jadi energi potensial (pada titik yang bermuatan q di B adalah $E_p = q V_B$.

Contoh 1

Sebuah titik A bermuatan positif $0,4 \mu\text{C}$. Sebuah titik B berada 50 cm dari A. Tentukan potensial di A bila dan B berada pada media dengan $\epsilon_r = 6$

Diketahui : $Q = 0,4 \mu\text{C}$
 $r = 50 \text{ cm}$
 $\epsilon_r = 6$

Ditanya : V_B

Jawab : $Q = 0,4 \times 10^{-6} \text{ C}$
 $r = 50 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $\epsilon_r = 6$
 $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$

$$V_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_r r}$$

$$V_B = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r}$$

$$V_B = \frac{0,4 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 6 \times 50 \times 10^{-2}}$$

$$B = 1198,36 \text{ V/m}$$

Contoh 2.

Dua buah titik A bermuatan positif $1,6 \mu\text{C}$ dan titik B bermuatan positif $0,4 \mu\text{C}$. Bila jarak $AB = 120 \text{ cm}$ tentukan potensial

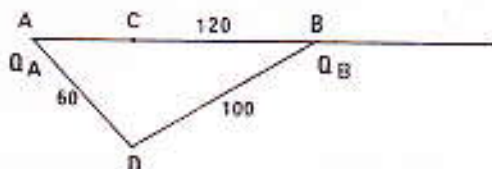
- titik C, $AC = 40 \text{ cm}$ $CB = 80 \text{ cm}$
- titik D, $AD = 6 \text{ cm}$ $DB = 10 \text{ cm}$

Diketahui : $Q_A = 1,6 \mu\text{C}$
 $Q_B = 0,4 \mu\text{C}$
 $AB = 120 \text{ cm}$

C = berada pada AC = 40 cm, CB = 80 cm
 D = berada pada AD = 60 cm, DB = 100 cm

Ditanyakan : a. V_C
 b. V_D

Jawab : $Q_A = 1,6 \times 10^{-6} \mu C$
 $Q_B = 0,4 \times 10^{-6} \mu C$
 $AB = 1,2$
 $AC = 0,4$
 $CB = 0,8$



Gambar 17
 Potensial di titik C dari muatan Q_A dan Q_B

Pada gambar arah ke kanan positif

$$V_C = \frac{Q_A}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r AC} + \frac{Q_B}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r CB}$$

$$V_C = \frac{1}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 1} \left(\frac{1,6 \times 10^{-6}}{0,4} + \frac{0,4 \times 10^{-6}}{0,8} \right)$$

$$V_C = 3,14 \times 10^4$$

$$V_1 = \frac{Q_A}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r AD}$$

$$V_1 = \frac{1,6 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8,954 \times 10^{-12} \times 1 \times 0,6}$$

$$V_1 = 23967,31 \text{ C/m}$$

$$V_2 = \frac{Q_B}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r AD}$$

$$V_2 = \frac{0,4 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 1 \times 1}$$

$$V_2 = 3595,09 \text{ C/m}$$

$$V_C = V_1 + V_2 = 23967,31 + 3595,09 \text{ C/m} = 26561,4 \text{ C/m}$$

Contoh 3.

Sebuah titik A bermuatan $0,8 \mu\text{C}$. Titik A, B dan C terletak pada garis lurus
 $AB = 300 \text{ cm}$, $AC = 500 \text{ cm}$. Tentukan beda potensial

a. V_{BC}

b. V_{CB}

Diketahui : $Q_A = 0,8 \mu\text{C}$

$AB = 300 \text{ cm}$

$AC = 500 \text{ cm}$

Ditanya : a. V_{BC}

b. V_{CB}

Jawab :

$$V_B = \frac{Q_A}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r AB}$$

$$V_B = \frac{0,8 \times 10^{-8}}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 1 \times 3}$$

$$V_B = 2396,73 \text{ C/m}$$

$$V_C = \frac{Q_A}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r AC}$$

$$V_C = \frac{0,8 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 1 \times 5}$$

$$V_C = 1438,03 \text{ C/m}$$

$$\begin{aligned} \text{a. } V_{BC} &= V_B - V_C \\ V_{BC} &= 2396,73 - 1438,03 \\ V_{BC} &= 958,7 \text{ C/M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } V_{CB} &= V_C - V_B \\ V_{CB} &= 1438,03 - 2396,73 \\ V_{CB} &= -958,7 \text{ C/m} \end{aligned}$$

Contoh 4.

Dua buah titik A dan B masing-masing bermuatan positif $0,5 \mu\text{C}$ dan $0,8 \mu\text{C}$. Bila jarak $AB = 56 \text{ cm}$. Tentukan energi potensial yang dimiliki titik A.

Diketahui : $Q_A = 0,5 \text{ mC}$
 $Q_B = 0,8 \text{ mC}$
 $AB = 56 \text{ cm}$

Ditanya : a. EP di A
 b. EP di B

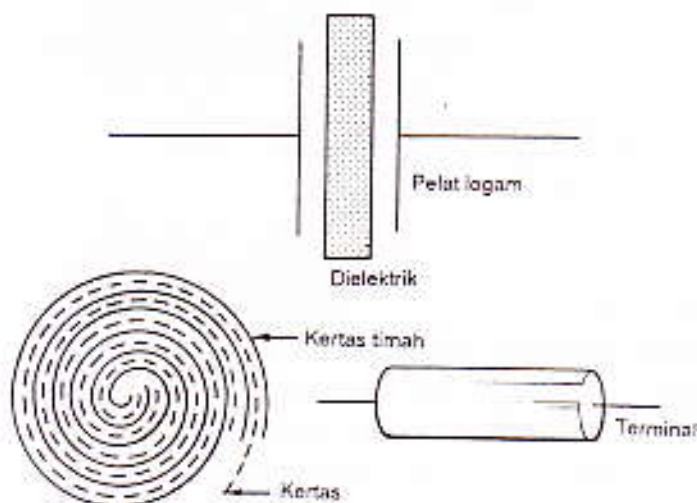
Jawab :

$$\begin{aligned} EP_A = EP_B &= \frac{Q_A Q_B}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r AB} \\ &= \frac{0,5 \times 10^{-3} \times 0,8 \times 10^{-3}}{4\pi \times 8,854 \times 10^{-12} \times 1 \times 0,56} \\ &= 6419,81 \text{ C}^2/\text{m}, \end{aligned}$$

BAB IV

KAPASITOR

Kapasitor adalah komponen listrik yang digunakan untuk menampung muatan listrik. Kapasitor pada dasarnya terdiri dari dua pelat logam yang disekat oleh suatu isolasi yang disebut dielektrik. Dielektrik dapat berupa hampa udara, udara kertas, minyak dan sebagainya. Kapasitor diberikan simbol $---||---$. Konstruksinya terdiri dari lembaran timah putih yang sangat tipis dan kertas secara berlapis.



Gambar 18
Konstruksi kapasitor kertas

Lapisan terdiri dari lembaran timah putih kertas timah putih. Lapisan ini digulung sehingga membentuk silinder dan dipotong-potong dengan panjang tertentu, kemudian kedua ujungnya dipasang penghantar, masing-masing dihubungkan dengan lembaran timah putih yang satu dan yang lainnya.

Kegunaannya

Kapasitor digunakan pada penyearah, pengapian pada mobil, lampu pemotret, peredam loncatan tabung api listrik dan sebagainya.

Kode warna

Kapasitor diberikan kode warna untuk menunjukkan kapasitasnya.



Gambar 19
Kode warna pada kapasitor

(1)

warna	Koef temp. (2 dan 3) ppm/°C	warna	harga
hitam	0	hitam	0
coklat	- 30	coklat	1
merah	- 80	merah	2
orange	- 150	orange	3
kuning	- 220	kuning	4
biru	- 330	hijau	5
ungu	- 750	biru	6
abu-abu	+ 30	ungu	7
putih	+ 500	abu-abu	8
		putih	9

(4) Warna kelipatan

hitam	1
coklat	10
merah	10
orange	103

(5) Warna toleransi

hitam	$\pm 20 \%$
coklat	$\pm 1 \%$
merah	$\pm 2 \%$
hijau	$\pm 5 \%$

abu-abu 10-2

putih 10-1

abu-abu

putih $\pm 10\%$

Catatan :

2 angka pertama (puluhan)

3 angka kedua (satuan)

A. KAPASITAS

Suatu penghantar yang diberikan muatan Q maka penghantar ini mendapat potensial V . Dalam praktek diperoleh bahwa harga perbandingan antara muatan yang diberikan pada suatu penghantar dan potensial yang ditimbulkan adalah konstan. Misal suatu penghantar diberikan muatan Q_1 , maka potensial yang dibangkitkan adalah V_1 .

Bila muatan dinaikkan menjadi Q_2 maka potensialnya akan naik menjadi V_2 , selanjutnya muatan diperbesar lagi menjadi Q_3 maka potensialnya naik menjadi V_3 dan seterusnya ternyata.

$$\frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_2}{V_2} = \frac{Q_3}{V_3} = C$$

Nilai C disebut kapasitas penghantar.

Kapasitas penghantar disebut satu farad (1F) apabila penghantar tersebut diberikan muatan satu Coulomb (1C) dapat ditimbulkan potensial sebesar satu volt (1V). Dalam teknik listrik biasanya digunakan ukuran yang lebih kecil yaitu micro farad (μF) nano farad (nF) dan piko farad (pF).

$$1 \mu F = 10^{-6} F, 1 nF = 10^{-9} F \text{ dan } 1 pF = 10^{-12} F.$$

Dua buah penghantar berbentuk bola yang sepusat dengan jari-jari r_1 dan r_2 . Jari-jari bola sebelah luar adalah r_1 dan sebelah dalam r_2 maka $r_1 > r_2$. Bola sebelah dalam mempunyai muatan positif Q dan bola sebelah luar dihubungkan dengan tanah sehingga bola sebelah luar mempunyai potensial nol. Potensial bola yang ada disebelah dalam adalah sama dengan usaha yang dilakukan untuk memindahkan satu satuan muatan positif dari bola sebelah

luar ke dalam. Bila ϵ adalah konstanta dielektrik antara bola di sebelah luar dan sebelah dalam, jadi

$$V = \frac{Q}{\epsilon r_2} - \frac{Q}{\epsilon r_1}$$

$$V = \frac{Q}{\epsilon} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

$$V = \frac{Q}{\epsilon} \left(\frac{r_1 - r_2}{r_2 r_1} \right)$$

Dari persamaan ini diperoleh kapasitas

$$C = \frac{Q}{V} \left(\frac{\epsilon r_1 r_2}{r_2 - r_1} \right)$$

Jadi $r_1 - r_2 = d$ adalah jarak antar bola di sebelah luar dengan bola sebelah dalam, maka

$$C = \frac{\epsilon r_1 r_2}{d} = \epsilon \frac{(r_2 + d) r_2}{d}$$

Untuk d sangat kecil maka d pada pembilang dapat diabaikan sehingga

$$C = \epsilon \frac{r_2}{d}$$

Pada persamaan di atas pembilang dan penyebut dikalikan dengan 4π maka persamaan menjadi

$$C = \epsilon \frac{4\pi r_2^2}{4\pi d} = \epsilon \frac{S}{4\pi d}$$

$4\pi r_2^2 = S$ = luar permukaan bola yang berjari-jari r_2 .

Dua penghantar yang terdiri dari dua pelat datar yang sejajar, masing-masing luasnya S dan jarak satu sama lainnya adalah d .

Bila salah satu pelat diberikan muatan Q positif maka dari pelat ini dipancarkan garis gaya sebesar

$$\Psi = \frac{4\pi Q}{\epsilon}$$

dan pelat yang satu lagi bermuatan negatif. Dalam hal ini medan sisi kita abaikan. Yang disebut medan sisi adalah garis gaya dari sisi-sisi pelat pertama menuju pelat kedua melalui udara, lintasannya berupa garis lengkung.

$$E = \frac{4\pi Q}{\epsilon S} \quad \text{maka potensial antara pelat}$$

$$V = ED = \frac{4\pi Q d}{\epsilon S}$$

Kapasitas dapat diperoleh dengan perhitungan

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{4\pi Q d}{\epsilon S}}$$

$$C = \epsilon \frac{S}{4\pi d}$$

Dua buah silinder satu sumbu dengan jari-jari r_1 dan r_2 . Muatan Q diberikan pada silinder sebelah dalam dan silinder sebelah luar dihubungkan dengan tanah maka muatan ini akan memancarkan garis gaya

$$\Psi = \frac{4\pi Q}{\epsilon}$$

Bila panjang silinder adalah l dan muatan tiap satuan panjang adalah q , maka

$$Q = q l. \text{ Jadi } \Psi = \frac{4\pi q l}{\epsilon}$$

Kuat medan pada silinder dengan jari-jari ρ maka garis gaya ψ melalui permukaan $S = 2\pi\rho l$. Jadi kuat medan pada permukaan

$$E = \frac{\psi}{S} = \frac{4\pi q}{\epsilon} ; 2\pi\rho l = \frac{2q}{\epsilon\rho}$$

Bila ρ bertambah dengan $d\rho$ maka potensialnya

$$dV = -E d\rho$$

Besarnya potensial dari jari-jari silinder sebelah dalam r_1 , ke suatu titik dengan jari-jari r_2 .

$$V = \int_{r_1}^{r_2} -E d\rho = \int_{r_1}^{r_2} -\frac{2q}{\epsilon\rho} d\rho = -\frac{2q}{\epsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{d\rho}{\rho} = -\frac{2q}{\epsilon} \ln \rho$$

$$V = \frac{2q}{\epsilon} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Jadi beda potensial antara dua silinder adalah

$$\frac{2q}{\epsilon} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Kapasitas dapat dihitung

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{ql}{\frac{2q}{\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1}} = \epsilon = \frac{l}{2 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Beberapa kapasitas dari penghantar dengan bermacam-macam bentuk ditulis di bawah ini :

1. Penghantar berbentuk bola dengan jari-jari kapasitasnya

$$C = 4\pi\epsilon r$$

2. Penghantar berbentuk dua bola sepusat dengan jari-jari r_1 dan r_2 , kapasitasnya

$$C = \epsilon \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}$$

3. Penghantar berbentuk dua pelat sejajar yang luasnya S dan jaraknya d , kapasitasnya.

$$C = \frac{S}{4\pi d}$$

4. Dua kawat penghantar sejajar diudara diameter kawat d jarak antara sumbu-sumbu kawat a dan panjangnya l , kapasitasnya

$$C = \frac{l}{4 \ln \frac{2a}{d}} \quad \text{untuk } a \gg d$$

5. Kabel yang berkawat satu, diameter kawat d , diameter rata-rata selubung tibal D dan panjangnya l , maka kapasitas kawat terhadap selubung timbel adalah :

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{D}{d}}$$

6. Penghantar arus tiga fasa tanpa bantaran nol di udara, diameter kawat d , jarak antara sumbu-sumbunya a dan panjangnya l , maka kapasitas tiap-tiap kawat terhadap nol pada tegangan dengan beda fasa 120° .

$$C = \frac{l}{2 \ln \frac{2a}{d}}$$

B. KAPASITOR PELAT

Kapasitor pelat terdiri dari dua buah pelat logam yang dipasang sejajar dan di antara kedua pelat dipasang elektrik.

Kapasitas dari kapasitor pelat dapat ditentukan :

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

C = kapasitor (F)

A = luas pelat (m)

d = jarak antara pelat (m)

ϵ = koefisien dielektrik suatu media

ϵ_0 = koefisien dielektrik dalam udara vacuum

ϵ_r = koefisien dielektrik relatif

Harga $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C N}^{-1} \text{ m}^{-2}$

ϵ_r diketahui dalam tabel

Contoh 1.

Sebuah kapasitas $50 \mu\text{F}$ dihubungkan pada tegangan 200 V dc .

Tentukan besar muatan pada kapasitor.

Diketahui : $C = 50 \mu\text{F}$
 $V = 200 \text{ V dc}$

Ditanya : Q

Jawab : $Q = CV = 50 \times 10^{-6} \times 200 = 10^{-2} \text{ Coulomb}$

Contoh 2.

Kapasitor pelat paralel jaraknya $0,2 \text{ cm}$. Tiap pelat luasnya 120 cm^2 . Di antara pelat disisipkan dielektrik dengan $\epsilon_r = 3$.

Diketahui : $d = 0,2 \text{ cm} = 0,2 \times 10^{-2} \text{ m}$
 $A = 100 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}^2$
 $\epsilon_r = 3$

Ditanya : C

Jawab :

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = \frac{8,854 \times 10^{-12} \times 3 \times 10^{-2}}{0,2 \times 10^{-2}} = 132 \text{ pF}$$

Sebuah kapasitor pelat terdiri dari lembar pelat kapasitasnya dapat ditentukan

$$C = \frac{\epsilon (n - 1) A}{d}$$

Kapasitor ini kapasitasnya dapat diatur, biasa digunakan pada teknik radio disebut variable kapasitor.

Contoh 3.

Sebuah kapasitor pelat terdiri dari 36 buah pelat berbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 2,5 cm. udara sama dengan $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$.

Bila jaraknya 0,5 mm. Tentukan kapasitas terbesar.

Diketahui: $n = 36$

$$r = 2,5 \text{ cm} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 0,5 \text{ mm} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Ditanya : Kapasitas terbesar

Jawab :

$$A = \frac{1}{2} \pi r^2$$

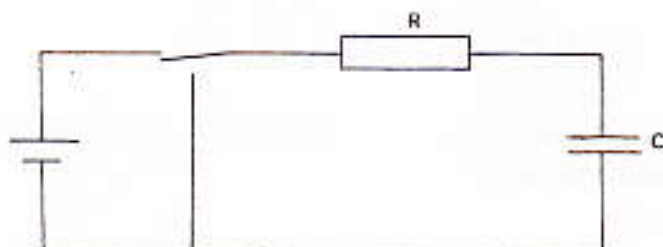
$$C = \frac{\epsilon (n - 1) A}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon (n - 1) \pi r^2}{2 d}$$

$$C = \frac{8,854 \times 10^{-12} (36 - 1) \pi \times (1,5 \times 10^{-2})^2}{2 \times 0,5 \times 10^{-3}}$$

C. PENGISIAN DAN PENGOSONGAN KAPASITOR

Kapasitor dapat dimuati listrik dengan cara memberikan tegangan DC pada kapasitor. Bila pengisian dilakukan secara langsung dalam praktek sukar sekali untuk mengamati perubahan arus atau tegangannya. Oleh karena itu agar perubahan arus pengisian dapat diamati perlu adanya hambatan yang dipasang secara seri R.



Gambar 20
Rangkaian pengisian dan pengosongan kapasitor

Bila kapasitor dalam keadaan kosong, saklar S ditutup (1). Muatan kapasitor masih nol diisi oleh baterai melalui hambatan R.

Prosesnya dapat diuraikan sebagai berikut :

$$U = U_1 + U_2$$

$$\text{Pada saat S ditutup } U_2 = 0$$

$U = U_1 = iR$ setelah t detik kemudian kapasitor C bermuatan sehingga tegangannya mulai timbul sehingga tegangan U_1 menjadi turun.

Besarnya tegangan dapat ditulis

$$U = iR + U$$

$$U = CR \frac{du}{dt} + u$$

$$CR \frac{du}{dt} = U - u$$

$$\frac{du}{U-u} = \frac{dt}{RC}$$

$$\frac{d(U-u)}{U-u} = - \frac{dt}{RC}$$

$$\int \frac{d(U-u)}{U-u} = - \int \frac{dt}{RC}$$

$$\ln(U-u) = - \frac{t}{RC} + K$$

pada saat $t = 0$ maka $u = 0$

$$\ln(U-u) = - \frac{t}{RC} + \ln U$$

$$\ln(U-u) - \ln U = \frac{t}{RC}$$

$$\ln = \frac{U-u}{U} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\frac{U-u}{U} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$U-u = U e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$u = U - U e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$u = U (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Jadi tegangnya kapasitor waktu diisi berfungsi dari waktu t . Besarnya RC disebut konstanta waktu dalam satuan sekon.

Fungsi ini dapat digambarkan dengan garis mendatar merupakan sumbu t dan garis tegak merupakan sumbu tegangan.

$$u = U(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$\text{Untuk } t = 0 \rightarrow u = 0$$

$$t = RC \rightarrow u = 0,6321 U$$

$$t = 2RC \rightarrow u = 0,8646 U$$

$$t = 3RC \rightarrow u = 0,9816 U$$

$$t = 5RC \rightarrow u = 0,9932 U$$

Kapasitor diisi selama $t = 5 RC$, tegangan kapasitor telah mencapai 99,32 %.

Dalam teknik listrik untuk $t = 5RC$ muatan kapasitor dianggap penuh.

Saklar dilepas kapasitor bertegangan U .

Bila saklar dihubungkan pada posisi 2 maka persamaan dapat ditulis

$$U = iR + u$$

$$0 = RC \frac{du}{dt} + u$$

$$RC \frac{du}{dt} = -u$$

$$\frac{du}{u} = -\frac{dt}{RC}$$

$$\frac{du}{u} = -\frac{dt}{RC}$$

$$\ln u = -\frac{t}{RC} + K$$

$$\text{untuk } t = 0 \text{ maka } u = U$$

$$\text{Jadi } K = \ln U$$

$$\ln u = - \frac{t}{RC} + \ln U$$

$$\ln u - \ln U = - \frac{t}{RC}$$

$$\ln \frac{u}{U} = - \frac{t}{RC}$$

$$\frac{u}{U} = e^{- \frac{t}{RC}}$$

$$u = Ue^{- \frac{t}{RC}}$$

$$\text{Untuk } t = 0 - u = 1,0000 U$$

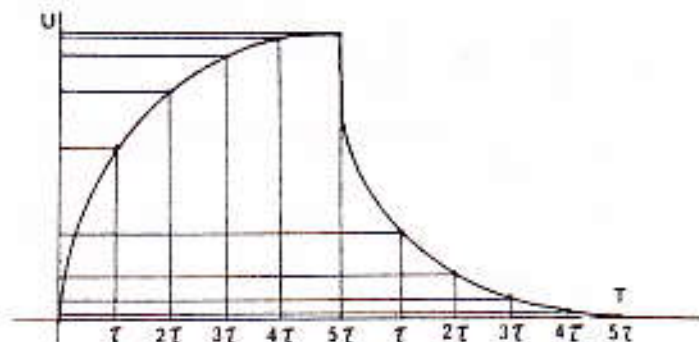
$$t = RC - u = 0,3678 U$$

$$t = 2RC - u = 0,1353 U$$

$$t = 3RC - u = 0,0449 U$$

$$t = 4RC - u = 0,0183 U$$

$$t = 5RC - u = 0,0067 U$$



Gambar 21
Grafik tegangan pengisian dan pengosongan
pada kapasitor

Grafik fungsi $u = f(t)$ dari OA adalah menyatakan perubahan tegangan kapasitor sewaktu diisi oleh baterai melalui hambatan R, sedangkan AB menyatakan perubahan tegangan kapasitor sewaktu mengosongkan diri melalui hambatan R.

Perubahan arus pada saat kapasitor diisi

$$u = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$i = -CU \left(-\frac{1}{RC} \right) e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i = I e^{-\frac{t}{RC}}$$

Perubahan arus pada saat kapasitor dikosongkan

$$u = U e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i = C \frac{du}{dt} = CU \left(-\frac{1}{RC} \right) e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i = -\frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i = -I e^{-\frac{t}{RC}}$$

Grafik arus pengisian kapasitor dapat dilukis sebagai berikut.

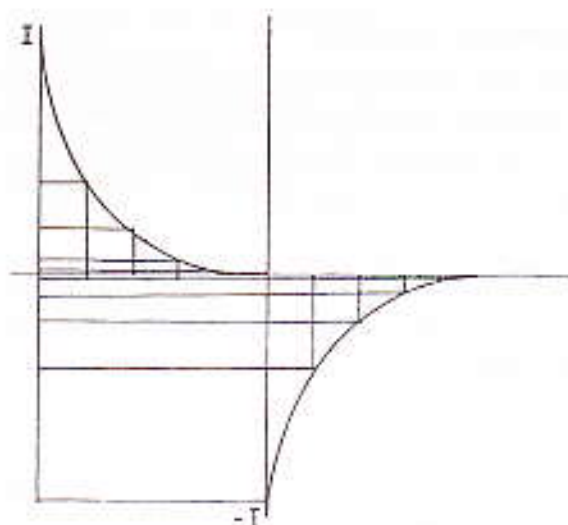
$$i = I e^{-\frac{t}{RC}}$$

Untuk $t = 0$	$i = 1,0000 \text{ I}$
$t = RC$	$i = 0,3678 \text{ I}$
$t = 2RC$	$i = 0,1353 \text{ I}$
$t = 3RC$	$i = 0,0497 \text{ I}$
$t = 4RC$	$i = 0,0183 \text{ I}$
$t = 5RC$	$i = 0,0067 \text{ I}$

Grafik arus pengosongan kapasitor dapat ditulis sebagai berikut :

$$i = -Ie^{-\frac{t}{RC}}$$

Untuk $t = 0$	$i = -1,0000 \text{ I}$
$t = RC$	$i = -0,3678 \text{ I}$
$t = 2RC$	$i = -0,1353 \text{ I}$
$t = 3RC$	$i = -0,0497 \text{ I}$
$t = 4RC$	$i = -0,0183 \text{ I}$
$t = 5RC$	$i = -0,0067 \text{ I}$



Gambar 22
Grafik arus pengisian dan pengosongan kapasitor

Arus pengosongan mempunyai tanda minus karena pada saat mengisi arah arus dari baterai menuju pelat kapasitor melalui hambatan R arah ini dibuat positif. Sebaliknya pada saat pengosongan, arah arus dari pelat yang telah diisi menuju pelat kapasitor yang lain melalui hambatan R. Proses ini berlangsung sampai kedua pelat kapasitor menjadi netral kembali. Jadi arah arusnya membalik oleh karena itu tandanya menjadi negatif.

D. HUBUNGAN JAJAR DAN SERI KAPASITOR

Hubungan jajar dan seri banyak dipakai pada teknik listrik. Kapasitor yang dihubungkan jajar, maka kapasitor akan membesar. Jadi untuk menginginkan kapasitas yang besar dapat dilakukan dengan menghubungkan jajar beberapa kapasitor.

Hubungan seri pada kapasitor akan diperoleh hasil yang paling kecil, yaitu lebih kecil dari kapasitas yang paling kecil. Dengan demikian besarnya kapasitas yang diinginkan dapat divariasikan dengan cara melakukan hubungan jajar, seri atau campuran yaitu hubungan jajar dan seri.

1. Hubungan jajar kapasitor

Hubungan jajar pada kapasitor diperlukan untuk memperbesar kapasitas apabila kapasitas yang diinginkan tidak ada. Perlu diperhatikan tegangan kerja dari tiap kapasitor tidak lebih rendah dari tegangan sumber.

Tegangan lebih dari yang diinginkan, kapasitor akan terbakar atau meledak.

Pada hubungan jajar tiap kapasitor menderita tegangan yang sama yaitu V. Dalam hal ini luas dari pelat menjadi bertambah, maka muatannya pun menjadi bertambah.

$$Q_1 = C_1 V$$

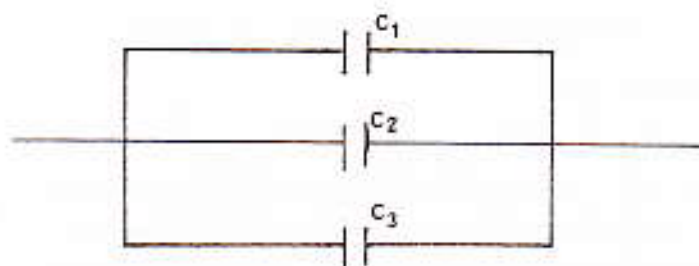
$$Q_2 = C_2 V$$

$$Q_3 = C_3 V$$

$$Q = V(C_1 + C_2 + C_3)$$

$$CV = V(C_1 + C_2 + C_3)$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$



Gambar 23
Rangkaian jejajar kapasitor

Contoh

Tiga buah kapasitor $2,5 \mu\text{F}$, $3 \mu\text{F}$ dan $4 \mu\text{F}$ dihubungkan paralel dihubungkan tegangan 6V

Tentukan : a. kapasitor totalnya
b. muatan pada tiap kapasitor
c. muatan total

Diketahui : $C_1 = 2,5 \mu\text{F}$, $C_2 = \mu\text{F}$ dan $4 \mu\text{F}$

Ditanya : a. C_1
b. Q_1 , Q_2 dan Q_3
c. Q_1

Jawab :

$$\text{a. } C_t = C_1 + C_2 + C_3 = 2,5 \times 10^{-6} + 3 \times 10^{-6} + 4 \times 10^{-6} = 9,5 \times 10^{-6}$$

$$\text{b. } Q_1 = Q_1 = C.V = 2,5 \times 10^{-6} \times 6 = 15 \times 10^{-6} \text{ C} = 15 \mu\text{C}$$

$$Q_2 = C_2 V = 3 \times 10^{-6} \times 6 = 18 \times 10^{-6} \text{ C} = 18 \mu\text{C}$$

$$Q_3 = C_3 V = 4 \times 10^{-6} \times 6 = 24 \times 10^{-6} \text{ C} = 24 \mu\text{C}$$

$$\begin{aligned} c. \quad Q_t &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ Q_t &= 15 + 18 + 24 \\ Q_t &= 57 \text{ } \mu\text{F.} \end{aligned}$$

2. Hubungan seri kapasitor

Hubungan seri kapasitor digunakan untuk memperkecil kapasitas apabila kapasitor dari kapasitor yang diinginkan sukar diperoleh.

Dalam hubungan seri tiap kapasitor menampung muatan yang sama, maka tegangannya.

$$V = \frac{Q}{C}$$

Tegangan yang bekerja pada tiap kapasitor berbanding terbalik dengan kapasitornya.

Jadi bagi kapasitor yang memiliki kapasitas yang rendah akan menderita tegangan yang lebih tinggi. Oleh sebab itu dalam merangkai kapasitor seri perlu diperhatikan tegangan sumber yang diijinkan dihitung lebih dahulu berdasarkan tegangan kerja pada kapasitor dengan kapasitas terendah. Jadi muatan yang diijinkan ditentukan oleh kapasitor yang memiliki kapasitas terendah dengan tegangan kerja yang diijinkan pada kapasitor yang bersangkutan.

Muatan tiap kapasitor yang dihubungkan seri sama dengan muatan totalnya $Q_t = Q_1 = Q_2 = Q_3$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{Q}{C_t} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) \quad C_t = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$



Gambar 24
Rangkaian seri kapasitor

Contoh

Tiga buah kapasitor masing-masing $0,5 \mu\text{F}$ 25 V $0,4 \mu\text{F}$; 18 V dan $0,8 \mu\text{F}$ 24 V dihubungkan seri.

Tentukan :

- Kapasitas total
- Tegangan sumber yang diijinkan
- Tegangan yang diterima masing-masing kapasitor

Diketahui :

$$C_1 = 0,5 \mu\text{F} ; 25 \text{ V}$$

$$C_2 = 0,4 \mu\text{F} ; 18 \text{ V}$$

$$C_3 = 0,8 \mu\text{F} ; 24 \text{ V}$$

Ditanyakan :

- C_1
- V sumber
- V_1 , V_2 dan V_3

Jawab :

a.

$$C_1 = \frac{1}{\frac{1}{0,5 \times 10^{-6}} + \frac{1}{0,4 \times 10^{-6}} + \frac{1}{0,8 \times 10^{-6}}} = 0,174 \mu\text{F}$$

b.

$C_2 = 0,4 \mu\text{F}$ yang paling kecil

$$Q = 0,4 \times 10^{-6} \times 18 = 7,2 \times 10^{-6} \text{ C} = 7,2 \mu\text{C}$$

$$V_5 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{7,2 \times 10^{-6}}{0,174 \times 10^{-6}} = 41,4 \text{ Volt}$$

c.

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{7,2 \times 10^{-6}}{0,5 \times 10^{-6}} = 14,4 \text{ V}$$

$$V_2 = 18$$

$$V_3 = \frac{Q_1}{C_3} = \frac{7,2 \times 10^{-6}}{0,8 \times 10^{-6}} = 9 \text{ V}$$

E. ENERSI KAPASITOR

Muatan listrik sebesar dq diberikan pada suatu benda, maka pada benda tersebut timbul potensial u . Enersi yang dilakukan untuk menambah muatan dq adalah :

$$dA = u dq$$

$$dA = CU du = CU du$$

Bila seluruh muatan Q telah diberikan pada penghantar, maka potensial penghantar menjadi U . Jadi seluruh enersi yang harus dilakukan adalah

$$A = \int_0^U CU du$$

$$A = \frac{1}{2} CU U$$

$$A = \frac{1}{2} CU^2$$

Besarnya $C = \frac{Q}{U}$, maka enersi dapat dituliskan

$$A = \frac{1}{2} \frac{Q}{U} U$$

$$A = \frac{1}{2} Q U$$

Besarnya $V = \frac{Q}{C}$, maka enersi dapat dituliskan

$$A = \frac{1}{2} Q \frac{Q}{C}$$

$$A = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Jadi enersi kapasitor dapat dihitung dengan persamaan

$$A = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Contoh 1.

Sebuah kapasitor dari 2 F dimuati dengan tegangan 400 V.

Tentukan :

- Muatan kapasitor
- Enersi yang disimpan oleh kapasitor

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } C &= 2 \mu\text{F} \\ &= 400 \text{ V} \end{aligned}$$

- Ditanya :
- Q
 - A

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{a. } Q &= CU \\ &= 2 \times 10^{-6} \times 400 \\ &= 8 \times 10^{-4} \\ &= 80 \text{ mC} \\ \text{b. } A &= \frac{1}{2} CU \\ &= \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-6} \times 400 \\ &= 16 \times 10^{-2} \\ &= 160 \text{ mJ} \end{aligned}$$

Contoh 2.

Sebuah kapasitor dari $2 \mu\text{F}$ diberikan muatan sampai $160 \mu\text{C}$ oleh sebuah sumber listrik.

Tentukan :

- Tegangan sumber listrik
- Energi yang disimpan pada kapasitor

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } C &= 2 \mu\text{F} \\ Q &= 160 \mu\text{C} \end{aligned}$$

$$\text{Ditanya : } \begin{aligned} \text{a. } &U \\ \text{b. } &A \end{aligned}$$

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{a. } U &= \frac{Q}{C} \\ U &= \frac{160 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-6}} \\ U &= 80 \text{ V} \end{aligned}$$

$$b. A = \frac{Q}{C}$$

$$A = \frac{(160 \times 10^{-6})}{2 \times 10^{-6}}$$

$$A = 12,8 \text{ mJ}$$

Contoh 3.

Sebuah kapasitor dihubungkan pada tegangan 400 V, muatan yang tersimpan 200 μC .

Tentukan :

- Kapasitor dari kapasitor
- Energi yang tersimpan pada kapasitor

Diketahui: $Q = 400 \mu\text{C}$

$U = 400 \text{ V}$

Ditanya : a. C

b. A

Jawab :

$$a. C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{200 \times 10^{-6}}{400}$$

$$C = 0,5 \mu\text{F}$$

$$b. A = \frac{1}{2} QU$$

$$A = \frac{1}{2} 200 \times 10^{-6} \times 400$$

$$A = 4 \times 10^{-2}$$

$$A = 40 \text{ mJ}$$

BAB V

MAGNET

Suatu benda yang dapat menarik besi disebut magnet. Magnet banyak sekali digunakan pada teknik listrik misalnya pesawat untuk membangkitkan tenaga listrik, saklar magnet, pengamanan listrik dan masih banyak lagi.

Menurut jenisnya magnet terbagi atas magnet alam dan magnet buatan terbagi lagi menjadi magnet permanen dan magnet remanen. Magnet permanen adalah magnet yang kekuatannya tetap. Sedangkan magnet remanen adalah magnet yang kekuatannya dapat diatur, artinya sifat magnetnya dapat dibuat kecil, sedang, kuat atau hilang.

Kekuatan magnet tetap dapat menjadi lemah, hal ini terjadi bila magnet mengalami getaran yang cukup kuat, misalnya magnet tersebut dipukul-pukulkan. Kekuatan magnet juga dapat melemah apabila magnet dipanaskan, bila temperaturnya pemanasan cukup tinggi sifat kemagnetan dapat hilang.

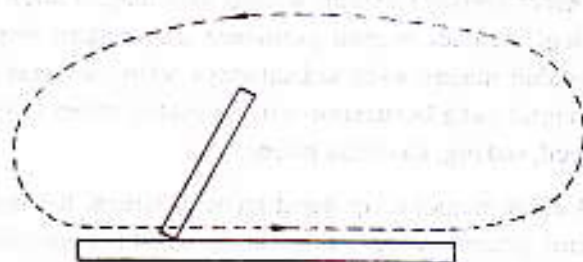
A. KUTUB MAGNET

Pada zaman dahulu manusia telah mengenal magnet yang digunakan untuk jarum kompas. Jarum kompas dalam keadaan bebas ujung yang satu menunjuk ke arah utara, ujung yang lainnya ke selatan. Magnet batang yang diikat seimbang dengan benang yang sangat lemas maka ujung yang satu menunjuk ke utara yang lain ke selatan.

Oleh sebab itu ujung magnet yang selalu menunjuk ke utara disebut kutub utara magnet dan ujung yang menunjuk ke selatan disebut kutub selatan. Jadi magnet mempunyai dua kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan.

Kutub utara magnet didekatkan pada jarum kompas maka ujung jarum yang biasa menunjuk utara mengelak dan ujung yang menunjuk selatan menarik. Jadi dapat disimpulkan bahwa kutub yang sejenis saling menolak, kutub yang tidak sejenis saling menarik.

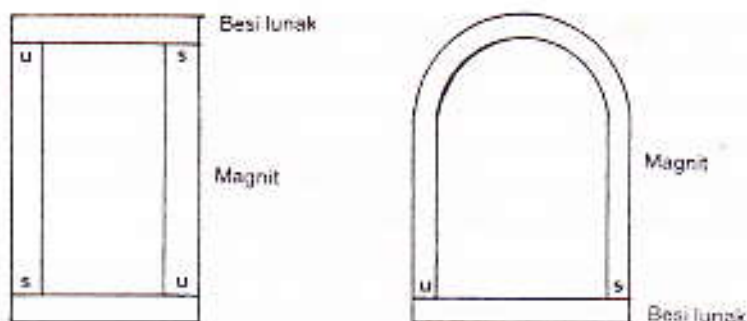
Kutub magnet dapat dibuat pada baja. Pada molekul-molekul baja terdapat kutub magnet utara dan kutub selatan. Kutub-kutub ini disebut kutub elementer. Kutub-kutub elementer pada baja letaknya berserakan. Apabila letak kutub-kutub elementer searah yaitu mengadakan hubungan seri maka kedua ujung magnet menjadi kutub-kutub magnet. Agar kutub-kutub elementer searah perlu adanya pengaruh dari luar yaitu dengan cara menggosok baja dengan kutub magnet seperti pada gambar.



Gambar 25
Pembuatan magnet dengan gesekan

Akibat gosokan ini bagian baja yang ditinggalkan oleh kutub utara menjadi kutub utara, sedangkan bagian yang kontak dengan kutub utara menjadi kutub selatan. Jadi ujung awal kutub utara dan ujungnya akhir gerakan menjadi kutub selatan. Apabila yang digosokkan adalah kutub selatan maka ujung awal gerakan menjadi kutub selatan, sedangkan ujung akhir gerakan menjadi kutub utara.

Bila magnet tidak dipergunakan maka sebelum disimpan kedua kutubnya dihubungkan dengan besi lunak. Untuk magnet batang dapat dilakukan dengan cara meletakkan dua magnet batang sejajar kemudian kedua kutub yang tidak senama dihubungkan dengan besi lunak.



Gambar 26
Rangkaian magnet tertutup

Sedangkan untuk magnet berbentuk U dapat dilakukan seperti gambar. Kekuatan kutub magnet dapat ditentukan dengan menggunakan satuan kutub yaitu weber.

Kuat kutub dikatakan satu weber, apabila dua buah kutub utara yang sama didekatkan satu sama lainnya satu meter maka kedua kutub itu menderita gaya sebesar $2\pi \times 10^4$ Newton.

B. KUTUB MAGNET INDUKSI

Besi lunak dapat dipengaruhi oleh kutub magnet, yang bersifat sementara. Bila pengaruhnya dihilangkan maka sifat kemagnetan akan hilang.



Gambar 27
Induksi magnet pada besi lunak

Jadi pembuatan magnet dengan besi lunak tidak dapat dilakukan seperti pada baja. Hal ini disebabkan oleh magnet elementer dari besi sangat labil, yaitu mudah diarahkan tetapi mudah pula berserakan. Sifat ini sangat berguna bagi kepentingan di bidang teknik listrik untuk terciptanya magnet remanen. Bila diperlukan menjadi magnet besi lunak dapat berfungsi sebagai magnet, tetapi bila tidak diinginkan besi lunak kembali netral.

Besi lunak yang didekati oleh kutub utara maka ujung besi yang paling dekat dengan kutub utara menjadi kutub selatan. Bila pada besi lunak tersebut didekatkan pada serbuk besi, maka serbuk besi segera tertarik berkumpul pada kutubnya. Gejala besi lunak didekat kutub magnet tetap pada ujung besi lunak menjadi kutub, maka kutub ini disebut kutub magnet induksi.

Besi lunak didekat kutub magnet permanen besi lunak menjadi magnet, tetapi bila magnet permanen disingkirkan besi lunak tidak semua kemagnetannya hilang. Ini disebut magnet tinggal. Adanya magnet tinggal ini diperlukan di bidang teknik listrik yaitu untuk membangkitkan tegangan awal pada generator shunt.

Pengaruh magnet terhadap bahan tidak sama. Bahan yang dapat melakukan gaya tarik yang sangat besar adalah fero magnetik. Bahan yang tergolong pada fero magnetik adalah : besi, cobalt, nikel, baja, alnico, logam campuran.

Beberapa jenis logam dapat dipengaruhi oleh magnet tetapi memerlukan kuat magnet yang sangat besar, atau bahan ini sangat lemah terhadap pengaruh magnet. Logam ini disebut paramagnetik. Bahan yang tergolong dalam paramagnetik adalah : magnesium, aluminium, platinum, oksigen dan kayu.

Di samping kedua bahan tersebut di atas ada lagi bahan yang menolak terhadap pengaruh magnet disebut diamagnetik. Bahan yang tergolong dalam diamagnetik adalah : antimon bismuth, tembaga, emas, air raksa dan seng.

Jadi bahan yang dipengaruhi oleh magnet terbagi atas tiga golongan yaitu : Feromagnetik, paramagnetik dan diamagnetik.

Kemagnitan yang dimiliki oleh bahan feromagnetik dapat hilang bila dipanaskan sampai mencapai temperatur kritisnya.

Temperatur kritis ini disebut titik kritis Curie. Titik kritis adalah temperatur batas pada feromagnetik sifat kemagnetannya mulai kritis. Bila temperaturnya dinaikan lagi maka sifat kemagnitan dari feromagnetik ini akan hilang.

Misalnya cobalt memiliki titik kritis 1131°C , titik leburnya 1480°C . Besi titik kritisnya 770°C , titik leburnya 1535°C . Nikel titik kritisnya 358°C , titik leburnya 1452°C .

C. GAYA MAGNIT

Dua buah titik mempunyai kuat kutub m , weber dan $M2$ weber. Satu sama lain berjarak r meter, maka gaya yang bekerja pada kedua titik adalah :

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi \mu r^2}$$

$$F = \text{gaya (N)}$$

$$m = \text{kuat kutub (wb)}$$

$$\mu = \text{permeabilitas}$$

$$r = \text{jarak (m)}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ [wb}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2} \text{]}$$

Bahan	μ_r
aluminium	1
nikel	50
besi tuang	60
cobalt	60
serbuk besi	100
besi dinamo	300
ferit	1000

permalloy 45	2500
besi transformator	3000
besi silikon	3500
besi lunak	4000
supermalloy	100000

D. MEDAN MAGNIT

Medan magnet adalah ruangan disekitar kutub magnet. Bila dalam medan magnet diletakkan kutub M1 maka kutub tersebut mengalami gaya, besarnya gaya sebanding dengan besarnya m.

Sebuah titik mempunyai kekuatan kutub utara m weber. Titik M terletak r meter dari titik tersebut, maka besarnya kuat medan di titik M adalah :

$$H = \frac{m}{4\pi \mu r^2}$$

H = kuat medan (N/wb)

m = kuat kutub (wb)

μ = permeabilitas

r = jarak (m)

Contoh 1.

Dua buah titik A ber kutub utara $1,5\mu$ wb, titik B bermuatan positif $0,8\mu$ wb. Bila jarak AB = 4 cm. Tentukan gaya pada kedua titik.

Diketahui: $m_1 = 1,5\mu$ wb

$m_2 = 0,8\mu$ wb

r = 4 cm

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2}$$

$$F = \frac{1,5 \times 10^{-6} \times 0,8 \times 10^{-6}}{4\pi \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times (4 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = 47,49 \text{ N}$$

Contoh 2.

Dua buah titik A bertubut utara $1,8\mu \text{ wb}$, titik B bermuatan negatif $1,2\mu \text{ wb}$. Bila jarak antara AB = 6 cm. Tentukan gaya yang bekerja pada kedua titik.

Diketahui: $m_1 = 1,8\mu \text{ wb}$

$m_2 = -1,2\mu \text{ wb}$

$r = 6 \text{ cm}$

Ditanya : F

Jawab : $m_1 = 1,8 \times 10^{-6} \text{ wb}$

$m_2 = -1,2 \times 10^{-6} \text{ wb}$

$r = 6 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_1 r^2}$$

$$F = \frac{1,8 \times 10^{-6} (-1,2 \times 10^{-6})}{4\pi \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times (6 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = -37,99 \text{ N}$$

Tanda (-) menyatakan bahwa kedua titik saling tarik menarik.



Gambar 28
Aras gaya tarik menarik

Contoh 3.

Sebuah titik A berkuat utara 2μ wb. Titik B terletak 5 cm dari A. Tentukan kuat medan di B.

Diketahui : $m = 2\mu$ wb
 $r = 5$ cm

Ditanya : H

Jawab : $m = 2 \times 10^{-6}$ wb
 $r = 5 \times 10^{-2}$ m
 $\mu_r = 1$
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$

$$H = \frac{m}{4\pi \mu_0 \mu_r r^2}$$

$$H = \frac{2 \times 10^{-6}}{4\pi \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times (5 \times 10^{-2})^2} = 50,66 \text{ NC}^{-1}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Hayt, H. William, Jr., *Engineering Elektromagnetic*, McGraw Hill International Book Company, Auckland, 1981.
- Hope, S. John, *Middle Level Physics*, Pitman Publishing Pty. Ltd., Victoria, 1975.
- Plonus, A. Martin, *Applied Electromagnetics*, McGraw Hill, Kofakusha Ltd., Tokyo, 1978.
- Smith, McKenzie and K. Hosie, *Basic Electrical Engineering Science*, Longman Group Lmt., London, 1992.
- Weston Sears, Francis, *Electricity and Magnetism*, Wesley Publishing Company Inc., U.S.A, 1958.

Diterbitkan oleh :
Bagian Proyek Penyelenggaraan Sekolah Kejuruan
Kerjasama Indonesia - Belanda (N-59)
Sebagai Buku Pelengkap Siswa dan Guru
Sekolah Menengah Kejuruan
